

Processi di *progressive upgrade* per il *retrofit* energetico dell'edilizia scolastica a Napoli

RICERCA E
SPERIMENTAZIONE/
RESEARCH AND
EXPERIMENTATION

Valeria D'Ambrosio, Emilia Alborelli,
Dipartimento di Architettura DiARC, Università di Napoli Federico II, Italia

valeria.dambrosio@unina.it
emilia.alborelli@unina.it

Abstract. Il *progressive upgrade* degli edifici ha visto, negli ultimi anni, significativi sviluppi in vari paesi come gli Stati Uniti e il Regno Unito secondo un approccio pianificato di azioni di retrofit attuate progressivamente al fine di raggiungere obiettivi di rendimento energetico efficaci e controllati. In questa linea di ricerca si è mossa l'attività del DiARC – Dipartimento di Architettura dell'Università di Napoli Federico II – che ha affiancato l'Amministrazione comunale di Napoli per sviluppare un'attività di studio e di supporto alle decisioni per la riqualificazione energetica degli edifici scolastici, relazionandosi anche ad altri soggetti ed Enti operativi sul territorio. Il contributo riporta i risultati di una prima fase di ricerca che ha avuto l'obiettivo di definire una metodologia operativa per l'individuazione di scenari di *progressive upgrade* degli edifici scolastici del comune di Napoli elaborati attraverso un'analisi multicriterio basata su parametri di sostenibilità ambientale, economica e di fattibilità tecnica.

Parole chiave: *Progressive upgrade*, *Retrofit* energetico, Edilizia scolastica, Riqualificazione

Criticità dell'edilizia scolastica e programmazione degli interventi di retrofit

Valeria D'Ambrosio

Il tema della riduzione delle emissioni climalteranti, dei consumi e dell'efficienza energetica rappresenta nel nostro paese una delle priorità degli interventi di riqualificazione del patrimonio pubblico dell'edilizia scolastica. Tale comparto è particolarmente ampio e interessa circa 52.000 edifici ad esclusivo o prevalente uso scolastico, di cui circa il 70% è stato edificato dal dopoguerra agli anni '90 e, quindi, non progettato in termini di rendimento energetico secondo gli indirizzi della L.10/91. Il ridotto rendimento energetico è accentuato dal degrado generalizzato degli edifici, spesso esito di una bassa qualità costruttiva, che per circa 1/3 richiedono interventi di riqualificazione per soddisfare sia le richieste di efficientamento energetico, sia la necessità di riduzione dei costi di esercizio e di contrasto delle condizioni di ob-

solescenza. Se su scala nazionale gli interventi urgenti interessano in media una scuola su quattro, nelle regioni meridionali si è in presenza di percentuali vicine al 45%¹. La situazione è resa più complessa in quanto tutte le Amministrazioni locali registrano concrete difficoltà a reperire fondi sufficienti per gli interventi². La politica tecnica ha, negli scorsi anni, puntato su processi di 'solarizzazione' degli edifici scolastici che hanno avuto tuttavia una incidenza limitata sul miglioramento delle prestazioni energetiche. Infatti gli interventi parziali di inserimento di impianti FV in copertura, promossi con finanziamenti governativi diffusi ma esigui, non hanno potuto sortire effetti sensibili sul rendimento energetico e sul comfort³. Con il Programma Operativo Nazionale PON-FESR 2007-2013 gli obiettivi per la riqualificazione degli edifici scolastici pubblici vengono invece estesi al miglioramento della sostenibilità ambientale, prevedendo la riduzione del 20% dei consumi energetici, del 20% delle emissioni di gas serra e dell'incremento del 5% della quota di energia elettrica prodotta da fonti di energia rinnovabile⁴. L'obiettivo di migliorare la classe energetica nelle scuole è stata recentemente recepito dal DL 91/2014 che prevede finanziamenti di oltre 300 milioni di € a tasso agevolato dello 0,25% per interventi volti a incrementare l'efficienza energetica degli immobili di almeno due classi energetiche in tre anni, pena la revoca del finanziamento⁵.

A fronte di un patrimonio di edilizia scolastica particolarmente degradato e in una condizione di risorse scarse, è necessario sviluppare un approccio integrato al tema della riqualificazione energetica degli edifici che sappia mettere a sistema interventi spesso polverizzati e finalizzati ad obiettivi parziali, programmandoli secondo una strategia unitaria e sviluppando scenari

Progressive upgrade processes for the energy retrofit of school buildings in Naples

Abstract. In the last years, the progressive upgrade of buildings has significantly developed in many countries such as the USA and the UK, following a planned approach based on the progressive implementation of retrofitting works, in order to achieve effective and controlled targets of energy performance. This is the field of the research that the DiARC - Department of Architecture, University of Naples Federico II - has carried out along with Naples City Administration to develop a study activity and a decision making support tool for the energy requalification of school buildings, in cooperation with other subjects and operational Authorities on the territory. This paper reports the results of the first research phase, whose purpose was the definition of an operational methodology to identify scenarios for the progressive update of school buildings in Naples. Scenarios have been elaborated by means of a

multi criteria analysis based on the parameters of environmental and economic sustainability and technical feasibility.
Keywords: Progressive upgrade, Energy efficiency retrofit, School buildings, Rehabilitation

Criticality of school buildings and energy retrofit planning

Valeria D'Ambrosio

The issue of the reduction in climate change emissions and consumption and the topic of energy efficiency are priorities in the requalification of the school building heritage in our country. This sector is particularly wide and involves about 52.000 buildings, exclusively or mainly zoned as schools, 70% of which have been built between the end of World War II and the 90s and therefore not designed in terms of energy performance according to

the Law n.10/91. The reduced energy performance is worsened by the diffused decay of buildings that is very often the result of poor quality in construction. One third of these needs requalification to meet both energy efficiency requirements and the necessity to reduce operating costs and to stop decay. On the national level, urgent works involve one school out of four but in southern regions the percentage increases to 45%¹. The situation is even more complicated by the fact that all local Governments have real difficulties to collect enough funds for requalification².

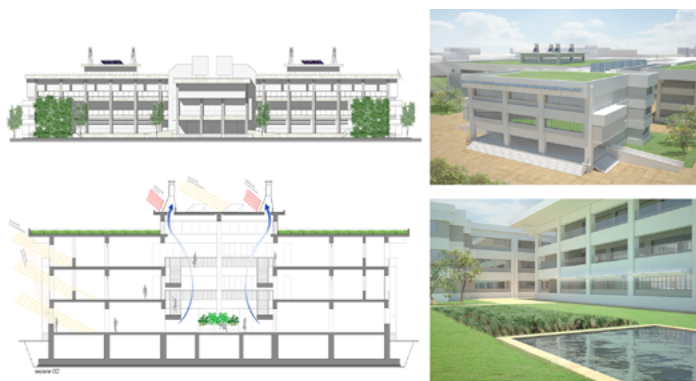
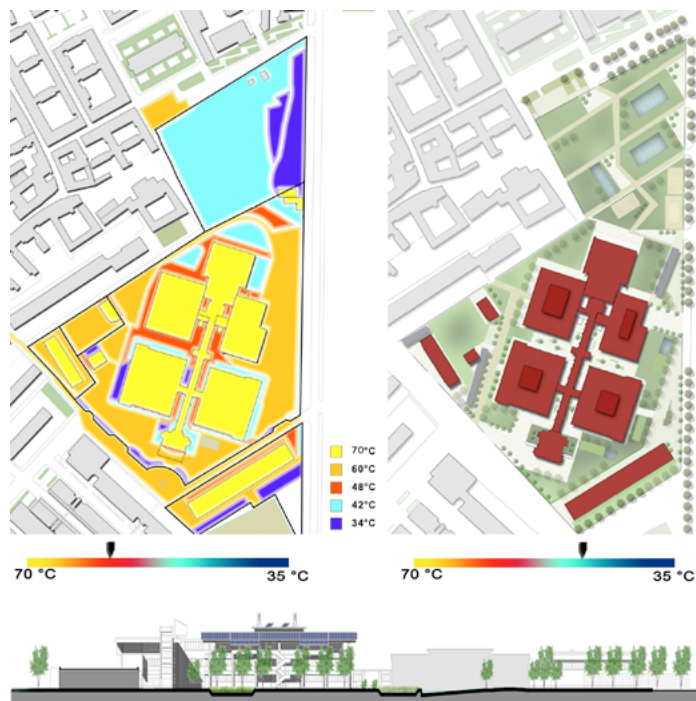
The technology policy of the past years has been based on the integration of photovoltaics into school buildings with limited effects on the improvement of energy performance. Actually, partial works to integrate photovoltaic roofing systems, promoted with

Deep retrofit for the energy requalification of a school building in Naples and the mitigation of heat island phenomena in the outdoor areas. Graduation thesis "Green school. Strategie di intervento per il retrofit tecnologico di un complesso scolastico a Napoli", graduating C. Casale

e interventi di retrofitting attuati secondo una sequenza preordinata tesa a incrementare in modo progressivo le prestazioni energetiche. Un approccio così concepito, denominato *progressive upgrade* ha visto, negli ultimi anni, significative proposte in molti paesi come gli Stati Uniti e il Regno Unito, secondo azioni pianificate di retrofit per raggiungere obiettivi di rendimento energetico efficaci e controllati⁶. Ciò consente di valutare le interazioni tra vari interventi realizzati secondo più fasi, ciascuna delle quali prevede soluzioni tecniche di retrofit che hanno implicazioni sugli aggiornamenti degli edifici effettuati nelle fasi successive, delineando così un processo a cascata in grado di controllare la riduzione dei consumi energetici, i costi di esercizio e gli impatti ambientali.

Un approccio di *progressive upgrade* costituisce l'opportunità da un lato di poter trasformare gli interventi manutentivi in soluzioni tecniche che incorporano la componente di riqualificazione energetica, dall'altro di indirizzarli verso gli obiettivi di rendimento energetico attraverso step scadenziati nel tempo e interfacciati con gli obiettivi paralleli di sicurezza d'uso, qualità dell'aria interna, comfort termico, visivo e acustico.

In questa linea di ricerca si è mossa l'attività del DiARC – Dipartimento di Architettura dell'Università di Napoli Federico II – che ha affiancato l'Amministrazione comunale di Napoli ed altri comuni della provincia per sviluppare una preliminare attività di studio e di supporto alle decisioni per la riqualificazione degli edifici scolastici esistenti, relazionandosi anche ad altri soggetti ed Enti operativi sul territorio. Sulla ricerca orientata al *progressive upgrade* dell'edilizia scolastica sono confluite altre attività, integrate con il finanziamento all'interno del progetto *Tecnologie e Monitoraggio Ambientale per la Sostenibilità delle Aree Vaste*



diffused but small government grants, couldn't have significant effects on energy performance and comfort³. With the National Operational Programme PON-FESR 2007-2013 the targets for the requalification of public school buildings have been extended to the improvement of environmental sustainability by setting the goal of a reduction in energy consumption and greenhouse gas emissions by 20% and a 5% increase in the energy produced by renewable energy sources⁴. The improvement of energy standards in schools has been recently included in the DL n.91/2014 that allocates grants for more than 300 million euros with a 0.25% cut rate for the works that improve energy efficiency of buildings by at least two energy classes in three years, otherwise grants are revoked⁵. With such a deteriorated school building heritage and poor economic re-

sources, it is necessary to develop an integrated approach to the issue of energy requalification of buildings. This approach should make a system out of the small and partial actions, by planning a global and strategic based on scenarios and consistent retrofits that should be implemented in a pre-ordered sequence aimed to improve energy performance progressively. Such a conceived approach, named progressive update, has been recently proposed in many countries like the USA and the UK by means of planned retrofits to reach efficient and controlled targets in energy performance⁶. This allows to evaluate the interactions among the various works that have been implemented in different phases, each of which uses technical retrofit solutions that have implications on updating buildings in the following phases, and thus generating a cascading process

that enables to control the reduction in energy consumption, operating costs and environmental impact.

On the one hand, the progressive upgrade approach gives the opportunity to transform maintenance works into technical solutions that involve energy requalification, on the other hand to address them towards energy performance targets through different steps in time and interface them with parallel objectives of safety, indoor air quality and thermal, visual and acoustic comfort.

This is the line of research followed by the DiARC - Department of Architecture, University of Naples Federico II - that has supported Naples City Government and other towns of this province to develop a preliminary study activity and a decision making support tool for the requalification of the existing school buildings, in

connection with other subjects and operational Authorities on the territory. Other activities have joined the research on the progressive upgrade of school buildings, integrated with funds allocated for the project *Technologies and Environmental Monitoring for the Sustainability of Wide Areas (TEMASAV)*⁷, POR Campania FSE 2007/2013 - Asse IV e Asse V funds, Universities, Research Centres and Commercial Enterprises Excellence Network Project.

Despite the implementation problems, all the researches have fostered the relationships among the different local government departments and service structures at different levels, as they all aimed to the best use of funds for maintenance and to the application for specific grants. Problems have arisen, partially due to the complexity of control actions and monitoring, to

(TEMASAV)⁷, fondi POR Campania FSE 2007/2013, Asse IV e Asse V, Progetti reti di eccellenza tra Università, Centri di Ricerca, Imprese.

Le ricerche, nei loro vari livelli e problematicità attuative, hanno favorito rapporti tra vari assessorati e strutture di servizio, con obiettivi di valorizzazione degli stanziamenti per le manutenzioni e per la richiesta di finanziamenti specifici. Sono emerse problematicità in parte ascrivibili alla complessità delle azioni di controllo e di monitoraggio, alla mancata centralizzazione di dati, alla necessità di implementare l'anagrafe scolastica in cui far confluire i dati aggiornati, in attuazione della L. n. 23 del 11.01.1996, Norme per l'Edilizia Scolastica, che prevede il rilevamento e il monitoraggio dello stato delle scuole.

Le ricerche hanno riguardato, per un primo aspetto, la sperimentazione e la simulazione di soluzioni tecnologiche di costo contenuto e a basso impatto ambientale, con lo scopo di trasformare gli interventi manutentivi in azioni di retrofit energetico e di convertirli da costo di gestione ad investimento per il risparmio energetico. Un secondo aspetto ha riguardato la riduzione dei costi di gestione e delle emissioni climalteranti nonché l'individuazione di tipologie di intervento adottabili nel contesto locale. Lo studio e l'applicazione di tali aspetti si ritiene possa avere positive ricadute in termini di riduzione dei consumi e degli sprechi di risorse, di miglioramento dell'efficienza e quindi di riduzione dei costi di esercizio degli edifici scolastici, individuando tipologie d'intervento che possano consentire un efficace reperimento di fondi e, attraverso il monitoraggio dei risultati, le pratiche più efficaci.

Il presente contributo, in particolare, riporta i risultati di una prima fase di ricerca che ha avuto come obiettivo la definizione di

una metodologia per individuare sequenze di interventi di *progressive upgrade* di singoli edifici o di sistemi di edifici scolastici al fine di definire priorità comuni e avanzamenti progressivi degli interventi orientati alla riduzione dei consumi energetici e al miglioramento delle condizioni di benessere. La metodologia ha previsto l'applicazione di una procedura multicriterio basata su parametri di sostenibilità ambientale, economica e di fattibilità di realizzazione sia per la comparazione e la selezione di alternative tecniche per l'isolamento dell'involucro e per l'efficienza degli impianti, sia per l'individuazione degli scenari di intervento.

L'attività di ricerca ha previsto tre fasi di lavoro. Una prima fase analitico-conoscitiva è stata finalizzata all'acquisizione di conoscenze sul tema della riqualificazione energetica all'interno delle politiche tecniche e dei programmi internazionali e nazionali. Una seconda fase ha interessato la raccolta e l'elaborazione dati, con l'individuazione delle caratteristiche e delle criticità che contraddistinguono il patrimonio scolastico del Comune di Napoli, sviluppando alcune indagini a campione e la verifica delle potenzialità applicative di interventi di retrofit tecnologico ed energetico sugli edifici scolastici. La terza fase è stata di tipo applicativo, finalizzata all'applicazione della metodologia e alla simulazione di scenari di *progressive upgrade* energetico su un caso studio. La scelta di quest'ultimo è stata effettuata dopo aver individuato classi omogenee di edifici (selezionate per epoca, tipologia edilizia e tipologia costruttiva), considerandone la diffusione sul territorio e le criticità ricorrenti legate al rendimento energetico. Tra esse la classe più critica corrisponde agli edifici realizzati dal secondo dopoguerra agli anni '90, con struttura intelaiata in c.a. e muri di tamponamento monostrato o pluristrato e tipologia a blocco/blocco accorpato (circa il 70% degli edifici scolastici comunali).

the lack of data centralization, to the necessity to improve school building records for the collection of updated data, according to L. n. 23 11.01.1996 Rules for school building, that calls for the survey and monitoring of schools. First, researches concerned tests and simulations of technological solutions with low cost and low environmental impact, specifically aiming to transform maintenance works into energy retrofit actions and thus to change them from managing costs to investments for energy saving. Second, they focused on the reduction of managing costs and climate change emissions, as well as on the identification of work typologies that may be suitable to the local context. The study and the application of these aspects may have positive effects in terms of the reduction in consumption and waste of resources, of efficiency improvement

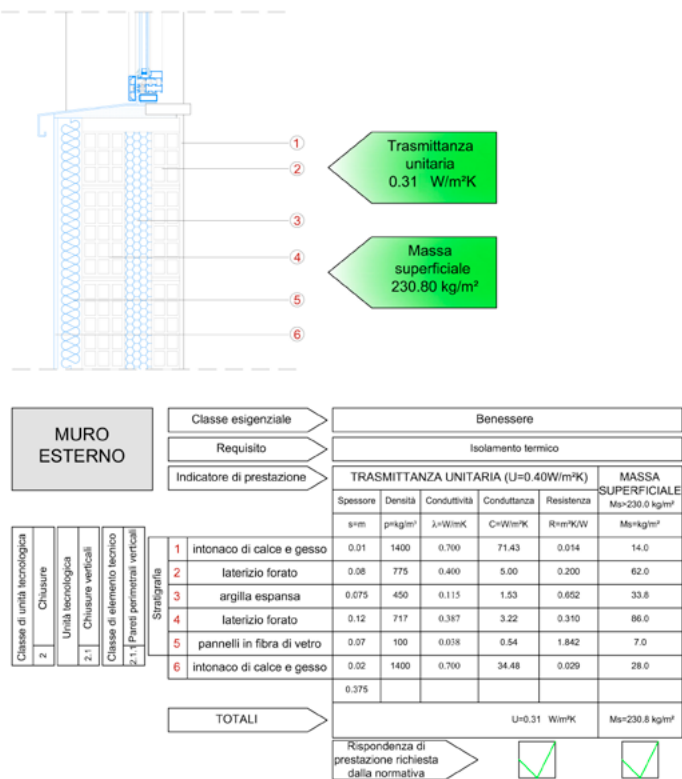
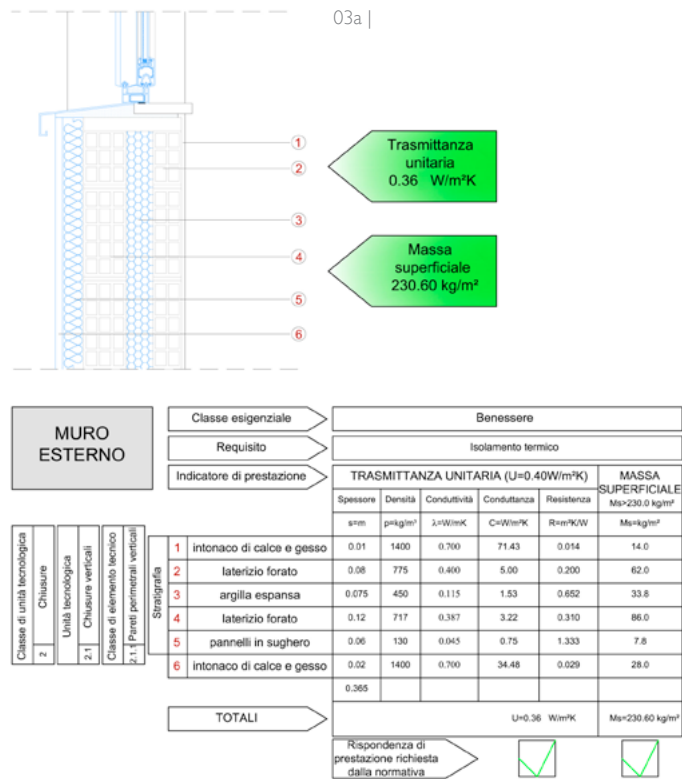
and therefore of the reduction in the operating costs of school buildings, by identifying work typologies that allow an efficient collection of funds and the most efficient practices thanks to the monitoring of results.

This paper reports the results of the first research phase, whose objective was the definition of a methodology to select sequences of progressive upgrade works on single buildings or school building systems, in order to define common priorities and progressive developments of the works to reduce energy consumption and improve wellness conditions. The selected methodology applies a multi criteria procedure based on parameters of economic and environmental sustainability and of feasibility for both the comparison and selection of technical options to insulate the envelope and increase the efficacy of systems, and

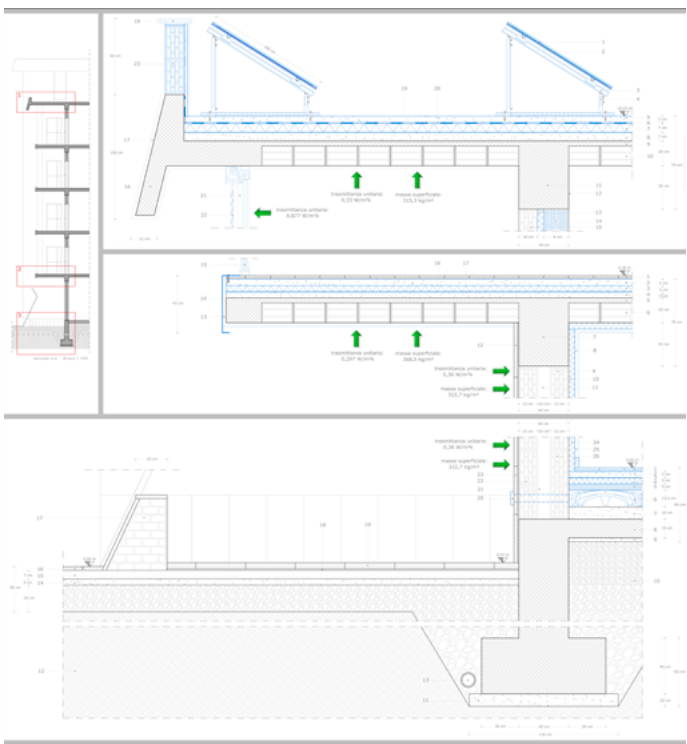
the identification of action scenarios. The research activity developed into three work phases. The first one was the fact-finding analytic phase. It aimed to the acquisition of knowledge on the theme of energy requalification within the technology policies and national and international programmes. The second phase consisted of data collection and elaboration and the identification of characteristics and criticalities that identify the school buildings in the city of Naples, developing random surveys and verifying the application potential of technology and energy retrofit works on school buildings. The third phase was practical and finalized to the application of the methodology and the simulation of energy progressive upgrade scenarios on a case study. This one has been selected after the identification of homogeneous building classes (selected

by age, building typology and construction typology), considering also the diffusion on the territory and the recurring criticalities due to energy performance. The most critical class of buildings is the one corresponding to the buildings constructed between the end of WW II and the 90s: linear block buildings or L-shaped buildings, columns and cross-beams reinforced concrete structures with one layer or multi layer infill walls (70% of town school buildings).

The continuation of the research activity in the second two-year period (2015-2016) will focus on the definition of guidelines for energy requalification works and on a demonstration project on a sample building proposed by Naples Administration, where we will simulate the conversion of maintenance works into retrofit actions to improve energy performance and com-



La prosecuzione dell'attività di ricerca per il secondo biennio (2015-2016) prevede la definizione di linee di indirizzo per gli interventi di riqualificazione energetica e un progetto dimostratore su un edificio campione proposto dall'amministrazione comunale di Napoli in cui simulare la conversione degli interventi manutentivi in interventi di retrofit finalizzati al miglioramento del rendimento energetico e al miglioramento del comfort per testare un programma di *progressive upgrade*, verificandone la replicabilità in contesti analoghi e in maniera diffusa sul territorio. Tale prefigurazione riguarda la valutazione delle condizioni d'uso e di contesto, la possibile programmazione per interventi su gruppi di edifici dalle caratteristiche omogenee (condizioni di degrado, livelli di rendimento energetico, tecniche costruttive) secondo progressive sequenze di intervento attraverso la comparazione di soluzioni tecniche e l'utilizzo di matrici multicriterio. La *start-up* del processo si è basata su una preliminare azione di retrocommissioning, ovvero di pianificazione del processo di retrofit energetico attraverso l'individuazione di obiettivi e criteri con cui verificare e documentare le prestazioni dell'edificio, degli impianti e delle attrezzature, con interventi di isolamento dell'involucro verticale opaco e trasparente e in copertura. L'intervento sugli impianti di climatizzazione è in genere rilevante, dati i consumi pari a oltre la metà dell'energia utilizzata negli edifici scolastici, tenendo conto che le tecnologie di climatizzazione innovative consentono fino al 50% di risparmio energetico.



SC 01

DATI GENERALI

DATI IDENTIFICATIVI

Sedi scolastiche ospitate nell'edificio

Infanzia Cod. MIUR: NAAA02603
Primaria Cod. MIUR: NAEEO2608

Indirizzo

Via G. A. Borelli

Municipalità

4 - San Lorenzo, Vicaria, Poggioreale, Zona industriale

Data di costruzione

1950

Data dell'ultima manutenzione

2002

Schema distributivo

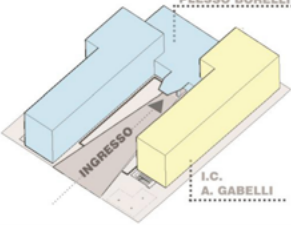
Aula-corridolo

Tipologia dell'edificio

Blocco

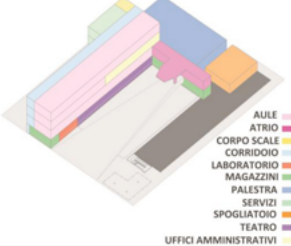


26° c.d. imbriani
PLESSO BORELLI



INGRESSO

I.C. A. GABELLI



AULE
ATRIO
CORPO SCALE
CORRIDOIO
LABORATORIO
MAGAZZINI
PALESTRA
SERVIZI
SPOGLIATOIO
TEATRO
UFFICI AMMINISTRATIVI

DATI

OCCUPAZIONE SUOLO

Sup. Tot. area scolastica

Mq 1826,8

Sup. Tot. spazio aperto

Mq 886,2

Sup. coperta dell'edificio

Mq 940,6

Sup. utile dell'edificio

Mq 2110,0

Volume lordo dell'edificio

Mc 18.429,6

N° Piani

4 (3 piani fuori terra, 1 seminterrato)

SISTEMA COSTRUTTIVO

Struttura

Telaio in c.a.

Chiusura esterna

Muratura a doppio strato a cassa vuota con intercapedine d'aria, paramento esterno e interno in blocchi di laterizio forato, rivestimento esterno costituito in parte da intonaco e in parte da listelli di clinker.

Infissi esterni

Serramenti in alluminio a doppio vetro, con apertura a battente, avvolgibile esterno e veneziana interna.

Coperture

Copertura piana in laterocemento con guaina esterna a vista, non praticabile. All'intradosso, in corrispondenza del corridoio, è presente un controsoffitto con pannelli in gesso rivestito.

Solai

Solai intermedi in laterocemento con travetti prefabbricati. In alcune aule il solaio presenta un controsoffitto. Solaio controterra privo di intercapedine aerea.

Impianti

Impianto di riscaldamento costituito da caldaia alimentata a gas metano e radiatori come terminali in ambiente. Non sono presenti impianti di ventilazione e raffreddamento, eccetto per gli uffici amministrativi in cui è presente un impianto di climatizzazione.

SC 02_b

ANALISI DEL SOLEGGIAMENTO: Ombre Portate

21 DICEMBRE

21 MARZO/SETTEMBRE

ORE 10:00

ORE 12:00

ORE 14:00

ESTATE

ORE 10:00

ORE 14:00

AULE

LABORATORIO

MAGAZZINO

TEATRO

UFFICI AMMINISTRATIVI

Assenza di ostruzioni esterne (alberi ed edifici circostanti) che impediscono l'ingresso della radiazione solare per le aule poste al secondo piano, al primo piano e al piano terra. Condizione favorevole per sfruttare gli apporti solari gratuiti invernali e sfavorevole per il benessere visivo perchè comporta problemi di abbagliamento

Presenza di alberi ad alto fusto sempreverdi che impediscono l'ingresso della radiazione solare per gli uffici amministrativi (primo piano), i laboratori e il teatro (piano seminterrato).

Malfunzionamento delle schermature esterne mobili in molte aule che impone l'utilizzo dell'illuminazione artificiale anche in giornate di sole.

04 | Caso applicativo: dati generali e analisi del soleggiamento
Practical case: general data and daylight analysis

fort and therefore testing a *progressive upgrade* programme to *verify* the replicability in similar contexts on a wide scale on the territory. This prefiguration concerns the evaluation of the use and the context conditions, the possibility to plan works on building groups with homogeneous characteristics (decay, energy performance levels, construction techniques) by following progressive sequences of works through the comparison of technical solutions and the use of multi criteria patterns. The start-up of the process has been based on a preliminary retro-commissioning action, i.e. the planning of the energy efficiency retrofit process through the identification of objectives and criteria to verify and provide documentary evidence of the performances of buildings, plans and equipments with the insulation of the vertical envelope, windows and roof. Works on the air conditioning plants

are usually relevant, as their energy consumption is more than the half of the total energy used in school buildings. Innovative air conditioning technologies allow up to 50% energy savings. By pursuing only the target of a single energy saving action, without connecting it to further improvements, may lead to focus on a low cost retrofit, like a more efficient lighting system and therefore gain faster returns on investments. On the contrary, the combination of low cost and high cost actions leads to better results: savings on energy costs, thanks to low cost corrective actions, may be used to pay more expensive measures to achieve a better long term performance. Actions on systems may have very short payback period if combined to other planned energy saving retrofit actions.

Progressive Upgrade Scenarios: a case study
Emilia Alborelli

The data collection and elaboration of the school building Registry of the Municipality of Naples-owned provides a framework with high functional and physical deficits and confirms the features and problems known in Italy⁸. In order to monitor the environmental, technology and energy quality, to identify the cyclic problems of school buildings and the actions of energy refurbishment to be taken, analysis data sheets have been elaborated on some case studies, selected, according to the type of building and construction, between about 600 buildings including nursery schools, kindergarten, primary and secondary schools. The data sheets, whose data were

extracted from the database of the school building Registry and partially collected in place, show informations regarding the buildings' identification data, occupation land, building system and the problems that emerged from the environmental, thermography, thermo-hygrometric, energy performance and the outside areas (roofs and open spaces appurtenant) analysis, conducted on school buildings example and summarized in a final data sheet, through a methodology of needs/performance with reference to UNI standard and to items taken from International and National Protocols⁹. The environmental analysis examined sunshine study, realized through the application of the solar paper and drop shadows, from which emerged problems related mainly to healthy sight (dazzle and overexposure) for

260

V. D'ambrosio, E. Alborelli

TECHNE 09 | 2015

Perseguire il solo obiettivo di risparmio energetico puntuale e non raccordato ad altri successivi interventi, può indurre a concentrarsi su azioni di retrofit a basso costo, come una illuminazione più efficiente, per ottenere un più rapido ritorno degli investimenti. Combinare tuttavia un mix di misure a basso e ad alto costo conduce a risultati migliori, utilizzando il risparmio sui costi energetici ottenuto da interventi correttivi a basso costo per finanziare misure con maggiori costi di investimento al fine di ottenere un miglior rendimento a lungo termine. L'intervento sulla componente impiantistica può avere tempi di *payback* molto ravvicinati se in combinazione con altri interventi di retrofit programmati sul risparmio energetico.

Scenari di progressive upgrade: un caso applicativo

Emilia Alborelli

La raccolta e l'elaborazione dei dati dell'Anagrafe dell'edilizia scolastica di proprietà del Comune di Napoli fornisce un quadro con elevati deficit funzionali e fisici e conferma le caratteristiche e le problematiche presenti a livello nazionale⁸.

Al fine di monitorare la qualità ambientale, tecnologica ed energetica, individuare le criticità ricorrenti degli edifici scolastici e gli interventi di riqualificazione energetica da adottare, sono state elaborate delle schede di analisi su alcuni casi studio, selezionati, in base alla tipologia edilizia e costruttiva, tra i circa 600 edifici fra asili nido, scuole dell'infanzia, primarie e secondarie di primo grado.

Nelle schede, i cui dati sono stati in parte estrapolati dalla banca dati dell'Anagrafe dell'Edilizia Scolastica ed in parte raccolti in situ, sono riportate le informazioni riguardanti i dati identificati-

vi dell'edificio, di occupazione del suolo, del sistema costruttivo, le criticità emerse dalle analisi ambientali, termografiche, termigrometriche, delle prestazioni energetiche e delle superfici esterne (spazi aperti pertinenziali e coperture) condotte sugli edifici scolastici campione e sintetizzate in una scheda conclusiva, attraverso una metodologia esigenziale/prestazionale con riferimento alle norme UNI ed a voci desunte da Protocolli Internazionali e Nazionali⁹.

L'analisi ambientale ha riguardato il soleggiamento, eseguito attraverso l'applicazione della carta solare e delle ombre portate, da cui sono emerse criticità relative soprattutto al benessere visivo (abbagliamento e sovraesposizione) per obsolescenza del sistema serramento/schermatura piuttosto che al benessere termico (deficit di irraggiamento invernale o sovraccarico estivo) dato il buon orientamento (sud-est) degli edifici. Dall'analisi termografica, eseguita con rilievi diretti sia all'interno che all'esterno degli edifici, sono emerse criticità relative alle dispersioni di calore e ponti termici attraverso l'involucro opaco e trasparente, alla presenza di condensa superficiale e di umidità di risalita, dovuti alla discontinuità e alla differenza dei materiali della struttura portante e dei muri di tamponamento, al loro spessore, alla mancanza di uno strato isolante e alla discontinuità geometrica nella forma della struttura (per esempio la presenza di parti aggettanti, come travi marcapiano, pilastri aggettanti ecc.). Dall'analisi termigrometrica sono emerse criticità relative all'eccessivo calore percepito rispetto alle temperature rilevate, in linea con quella ideale di 20°-22°C, e ad elevati o bassi valori di umidità relativa riscontrati soprattutto nelle aule sovraffollate, esposte a sud e poste ai piani alti oltre che dovuti ad un'adeguatezza della regolazione degli impianti di riscaldamento (mancanza di valvole

obsolescence window/screen systems rather than the thermal comfort (deficit of winter solar radiation or summer solar overload) considering the buildings good orientation (south-east).

From the thermography analysis, performed with direct surveys inside and outside buildings, problems have emerged concerning the heat loss and thermal bridge through the opaque and transparent building shell, in the presence of surface condensation and rising damp, due to the discontinuity and the difference of the materials of the structure and infill walls, to their thickness, to the defect of an insulating layer and to the discontinuity in geometric shape of the structure (for example, the presence of projecting parts, such as string course beams, pillars projecting etc.). From the thermo-hygrometric analysis, problems

emerged concerning to high heat perceived respect to the measured temperature, in line with the ideal temperature of 20°-22°C, and to a high or low values of relative humidity measured especially in overcrowded classrooms, exposed to south and placed in the highest floors as well as due to a deficiency in the control of the hot-heating system (absence of thermostatic radiator valves). In the energy analysis were calculated the values of the thermophysical properties (thermal transmittance of roofs, opaque and transparent vertical walls, the floors on the unheated rooms or floors in the ground, periodic thermal transmittance of the roofs and opaque vertical walls) and the values of primary energy Epi (EPI limit, depending on the climate zone, the degree days of the project site and the ratio between the heat loss-Surface (Sd)

and heated Volume (V) of the building (Sd/V), energy performance index for winter heating Epi) verifying that all case studies don't respect limit values provided for by law n.59/2009, except for the periodic thermal transmittance of load-bearing masonry construction, and that they fall in the low-energy building classes (G, F). Calculating the Epi checked as energy consumption and heat losses depend very much on the ratio between the heat loss-Surface (Sd) and the heated Volume (V) of the building (Sd/V). Finally, from the outside areas analysis, in which temperatures of surfaces exposed or not to solar radiation were measured, emerged that this areas are characterized principally by waterproof paving such as asphalt. In this case, because of the low value of the solar reflectance index (SRI), in the summer, it's possible to reach very

high temperatures, favoring the effect of heat island, which impacts on summer energy consumptions and on comfort of users. To solve the problems that emerged in the analysis but above all to improve energy performance of buildings were identified action strategies¹⁰.

Among the possible options, the energy upgrading of the 'building envelope-heating system' was considered, since checked by the use of software¹¹ for energy certification. In the choice of building products to employ has been paid specific attention to the thermo-physical characteristics of the building envelope (thermal transmittance, thermal inertia), given to the climate zone in which finding buildings (area C), and the eco-sustainability of the materials.

In order to identify the scenarios of preferable actions between other op-

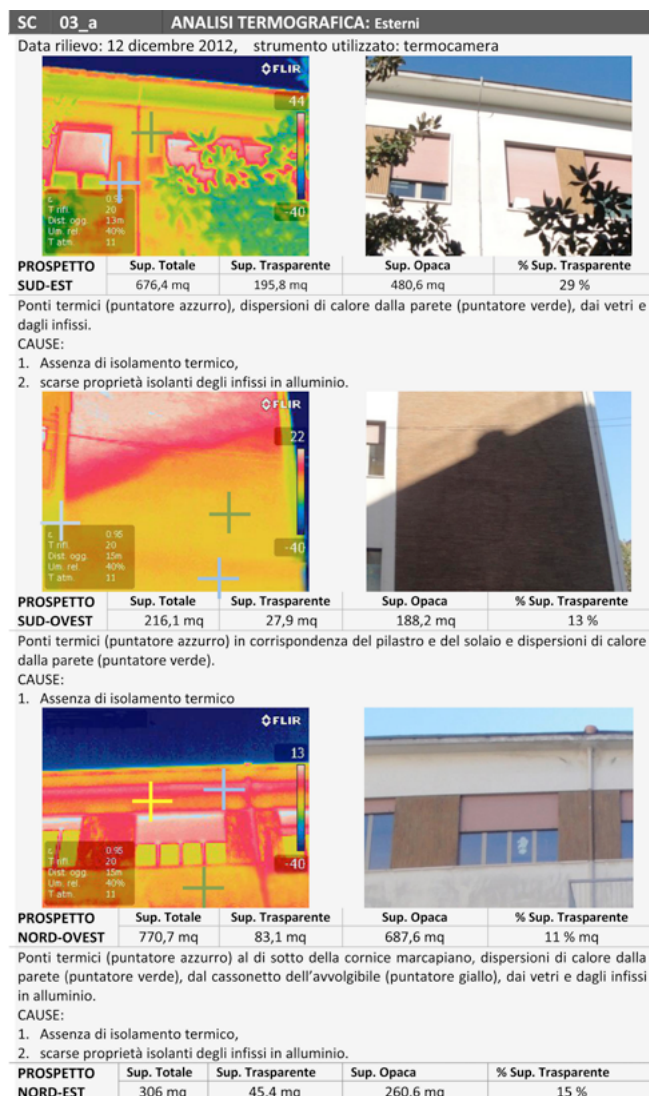
termostatiche). Nell'analisi energetica sono stati calcolati i valori delle caratteristiche termofisiche (trasmittanza termica delle coperture, delle strutture verticali opache/trasparenti, dei solai verso locali non riscaldati o controterra, trasmittanza termica periodica delle coperture e delle chiusure opache verticali) e i valori di energia primaria Epi (EPi Limite, in funzione della zona climatica, dei gradi giorno del sito di progetto e del rapporto di forma dell'edificio, EPi invernale, indice di prestazione energetica per la climatizzazione invernale) verificando che tutti i casi studio non rispettano i valori-limite previsti dal Dlgs. 59/2009, ad eccezione della trasmittanza termica periodica degli edifici in muratura portante, e che ricadono in classi energetiche basse (G, F). Nell'effettuare il calcolo dell'EPi si è verificato come i con-

sumi energetici e le dispersioni termiche dipendano molto dal rapporto di forma tra la superficie disperdente (Sd) e il volume riscaldato (V) dell'edificio (Sd/V).

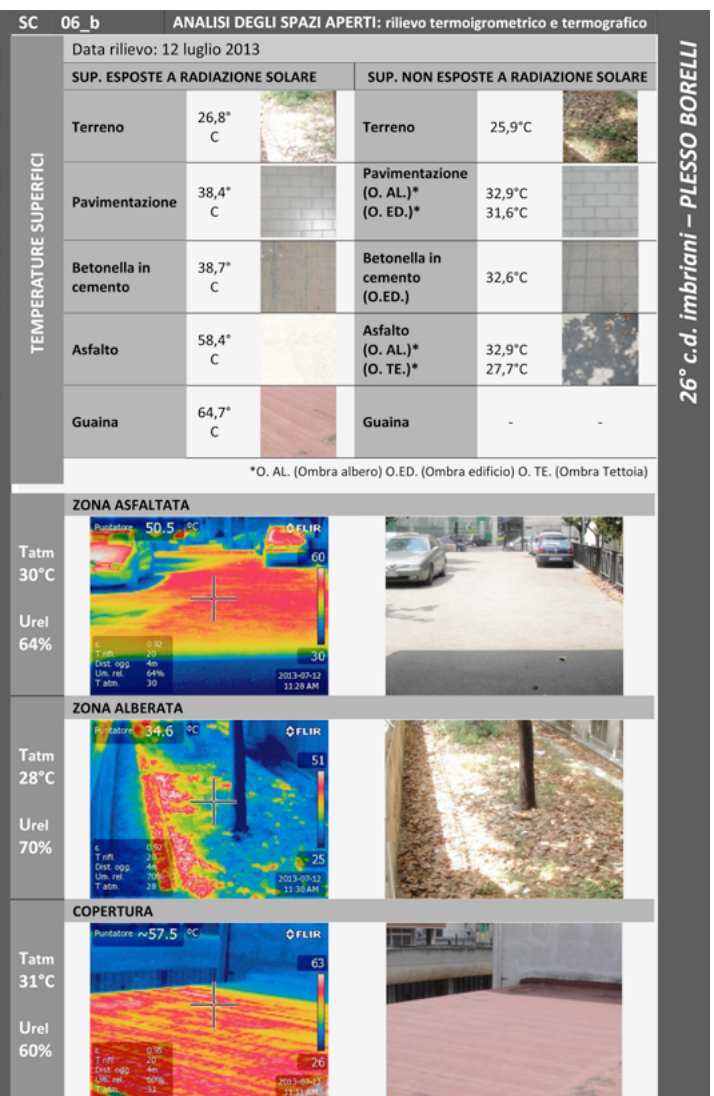
Infine nell'analisi degli spazi esterni, in cui sono state rilevate le temperature delle superfici esposte o non alla radiazione solare, è emerso che sono caratterizzate per la maggior parte da pavimentazioni non permeabili come l'asfalto. In tal caso, per l'indice di riflessione solare (SRI) basso, nel periodo estivo, si raggiungono temperature molto elevate, favorendo l'effetto isola di calore, che incide sui consumi energetici estivi e sulle condizioni di benessere dell'utenza.

Per risolvere le criticità emerse nelle analisi ma soprattutto per migliorare le prestazioni energetiche degli edifici sono state in-

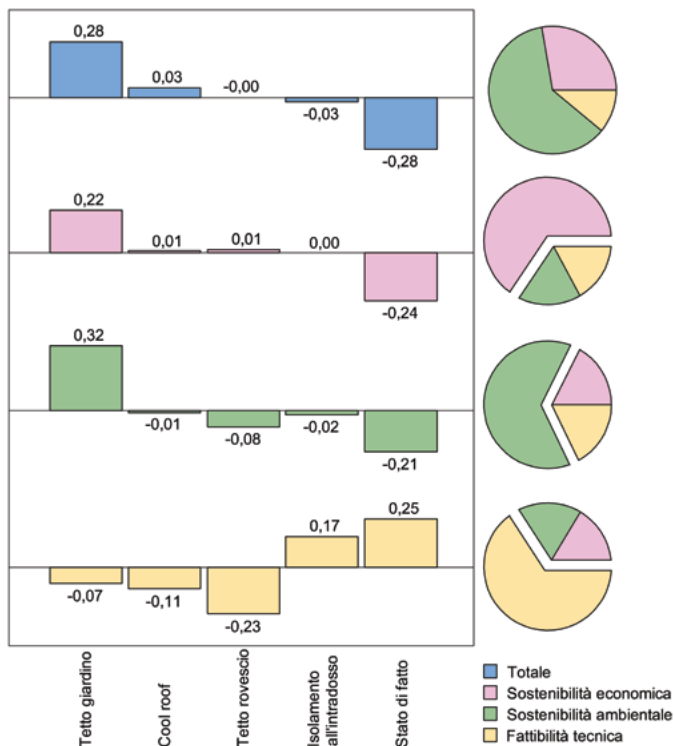
05 |



26° c.d. imbricanti – PLESSO BORELLI



26° c.d. imbricanti – PLESSO BORELLI



06 | Esito dell'analisi multicriterio relativa alle soluzioni tecnologiche della copertura, da cui emerge come soluzione preferibile quella del tetto giardino
Result of multi-criteria analysis concerning the technological solutions of roof, which shows the roof garden as preferable solution

dividuate delle strategie d'intervento¹⁰. Fra le opzioni possibili è stata considerata la riqualificazione energetica del sistema 'involucro-impianto' in quanto verificabile con l'utilizzo di un software per la certificazione energetica¹¹. Nella scelta dei prodotti edilizi da utilizzare è stata posta particolare attenzione alle caratteristiche termofisiche (trasmissione termica, inerzia termica) dell'involucro, data la zona climatica in cui ricadono gli edifici (zona C), e all'eco-compatibilità dei materiali.

Al fine di individuare gli scenari di intervento preferibili fra più alternative, ci si è avvalsi delle analisi multicriterio, che consentono di assegnare delle priorità ad una serie di alternative decisionali disponibili (opzioni) mettendo in relazione aspetti di tipo qualitativo e quantitativo. In relazione a specifici criteri di

scelta, si è individuata una soluzione ottimale, in un gioco a somma positiva in cui nessun aspetto risulta perdente. Il supporto al processo decisionale si può distinguere in tre fasi: formulazione di alternative o scenari; valutazione delle alternative in base ad uno o più criteri, eventualmente quantificabili tramite indicatori; scelta di un'opzione, tra quelle prese in considerazione, in base all'esito della valutazione effettuata.

Nel caso specifico, poiché l'obiettivo è migliorare le prestazioni energetiche degli edifici riducendo i consumi energetici e le emissioni di CO₂, sono stati selezionati i criteri relativi alla sostenibilità economica, ambientale ed alla fattibilità tecnica.

Per ciascun criterio sono stati individuati dei sotto-criteri o indicatori relativi ai costi, alle prestazioni energetiche, al tempo di realizzazione e sospensione delle attività didattiche degli interventi. Il caso applicativo, sul quale è stata sperimentata l'analisi multicriterio, è stato scelto, fra quelli studio, in relazione alle condizioni di specifiche criticità tecnico costruttive e di prestazioni energetiche. Preliminarmente è stata effettuata la certificazione energetica dell'edificio dalla quale sono stati desunti i valori relativi all'EPI, alle emissioni di CO₂, al fabbisogno di energia termica, al fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale e al coefficiente globale di trasmissione termica dell'edificio. Lo stesso procedimento è stato eseguito per tutti gli interventi di riqualificazione energetica da confrontare. Noti i dati dello stato di fatto e quelli degli interventi migliorativi è stata calcolata la riduzione di EPI, delle emissioni di CO₂, del fabbisogno di energia termica e di energia primaria per la climatizzazione invernale e il risparmio energetico. L'analisi multicriterio ha fornito di volta in volta la soluzione preferibile fra più alternative tecniche¹² come nel caso delle chiusure verticali opache/trasparenti e delle coperture.

tions, it was used the multi-criteria analysis, that allow to assign priorities to a set of available decision alternatives (options) relating qualitative and quantitative aspects. In relation to specific selection criteria, the best solution has found, in a positive-sum game in which no aspect is losing. The decision support can be divided into three stages: formulation of alternatives or scenarios; evaluation of the alternatives on the basis of one or more criteria, possibly through quantifiable indicators; choosing an option, among those taken into account, depending on the assessment results. In this case, since the aim is to improve the energy performance of buildings reducing energy consumptions and CO₂ emissions, the economic, environmental and technical feasibility criteria have been selected. For each criteria were identified sub-criteria or

indicators concerning to costs, energy performance, implementation time and interruption of educational activities of the actions. The case study, on which multi-criteria analysis has been experienced, was chosen, among those examined, in relation to specific technical construction problems and energy performance.

It was made the energy certification of the building from which the values of Epi, CO₂ emissions, thermal energy needs, primary energy demand for winter heating and the overall constant of heat transmission of building were derived. The same method was performed for all the energy upgrading actions to compare. Note the data, before and after the improvements, was calculated reduction for EPI, CO₂ emissions, heat energy needs and primary energy for winter heating and energy saving. The multi-criteria

analysis has provided each time the preferred solution among several technology options¹² as in the case of roofs and opaque and transparent vertical building shell. To size up the best technology solutions, it was assigned a greater weight to the environmental sustainability parameter, then to the economic and technology feasibility parameters, choosing solutions, that best of all, at the same time reach as many goals as possible among those considered. Identified the preferable solutions for each action were constructed scenarios associating with each other, in all possible combinations, 2, 3, 4 and 5 actions. Through the multi-criteria analysis, the preferable scenarios have been identified, defined of Progressive Upgrade because increase progressively the energy performance of buildings upgrading their energy class one to

four levels and reducing the EPI and CO₂ emissions approximately by 40 % to 70%, with energy savings between 38922.73 and 69522.59 kWh/year, an economic annual savings between € 5,111 and € 9,066 and a payback from 15 years. The costs of the actions as well as the leap from energy class, the energy and cost savings depend on the building type, the building dimension, ratio between the heat loss-Surface (Sd) and the heated Volume (V) of the building (Sd/V), technology system and hot-heating. For this reason, it could be extended the methodology to other school buildings, with different characteristics from the case study but at the same time cyclic in the school building heritage. The Progressive Upgrade¹³ is an innovative approach to program and plan sequences of actions to increase the energy performance of these build-

07 | Scenari di *progressive upgrade* relativi al caso applicativo di un edificio scolastico in c.a.
Scenari di miglioramento della classe energetica di partenza F:
scenario UP_1 - classe energetica E;
scenario UP_2 - classe energetica D;
scenario UP_3 - classe energetica C;
scenario UP_4 - classe energetica B

Progressive upgrade scenarios on a practical case of a reinforced concrete school building.
Scenarios of the improvement of an energy class F:
scenario UP_1 - energy class E;
scenario UP_2 - energy class D;
scenario UP_3 - energy class C;
scenario UP_4 - energy class B

Nel valutare le soluzioni tecniche preferibili, si è dato un maggior peso al criterio della sostenibilità ambientale, poi a quella economica e infine alla fattibilità tecnica, scegliendo le soluzioni che meglio di tutte raggiungono contemporaneamente quanti più obiettivi possibili fra quelli considerati. Individuate le soluzioni preferibili per ogni intervento sono stati costruiti gli scenari, associando fra loro, in tutte le combinazioni possibili, 2, 3, 4 e 5 interventi. Attraverso l'analisi multicriterio, sono stati identificati gli scenari preferibili, definiti di *progressive upgrade*¹³ perché incrementano in modo progressivo le prestazioni energetiche degli edifici facendo salire la loro classe energetica da uno a quattro livelli e riducendo l'EPI e le emissioni di CO₂ dal 40% al 70% circa, con un risparmio energetico variabile tra 38922,73 e 69522,59 kWh/anno, un risparmio economico annuo variabile tra 5.111 € e 9.066 € e con tempi di ritorno a partire dai 15 anni. I costi degli interventi così come il salto di classe e i risparmi energetici ed economici variano a seconda della tipologia edilizia, delle dimensioni dell'edificio, del suo rapporto di forma, della tecnologia costruttiva e dell'impianto in dotazione. Per questo motivo si potrebbe estendere la metodologia operativa ad altri edifici scolastici, con caratteristiche differenti dal caso applicativo ma nello stesso tempo ricorrenti nel patrimonio di edilizia scolastica. Il *progressive upgrade* è una strategia innovativa per programmare e pianificare sequenze di interventi per l'incremento delle prestazioni energetiche di tali edifici in base, anche, alle reali disponibilità economiche dell'amministrazione comunale ed a quanto previsto dall'ultima direttiva europea 2012/27/UE che stabilisce che ogni Stato Membro dovrà definire una strategia a lungo termine, effettuata anche per fasi, che va oltre il 2020, per incentivare gli investimenti nella riqualificazione energetica di edifici esistenti di proprietà pubblica.

NOTE

¹ Cfr. *Eco sistema Scuola, XV Rapporto di Legambiente sulla qualità dell'edilizia scolastica, delle strutture e dei servizi*, 2014, indagine annuale di Legambiente sulle strutture e sui servizi della scuola dell'infanzia, primaria e secondaria di primo grado di 94 capoluoghi di provincia.

² Si stima che per ciascuno degli edifici scolastici pubblici del nostro paese vi sia una disponibilità media di circa 30.000 € di finanziamenti pubblici cumulativi degli interventi di manutenzione straordinaria e ordinaria, cfr. *Eco sistema Scuola, XV Rapporto di Legambiente sulla qualità dell'edilizia scolastica, delle strutture e dei servizi*, 2014.









³ Programma Nazionale "Tetti Fotovoltaici" (2001), bando "Il sole a scuola" (2007 e 2012), bando "Il sole negli enti pubblici", bando "Il fotovoltaico nell'architettura" (2007).

⁴ Programma Operativo Nazionale PON-FESR 2007-2013 "Ambienti per l'Apprendimento" - Asse II obiettivo C. e con il Programma Operativo Interregionale POIN-FESR "Energie rinnovabili e risparmio energetico", Asse II "Efficienza energetica ed ottimizzazione del sistema energetico", Linea di attività 2.2.

⁵ DL n.91 del 24.06.2014, "Disposizioni urgenti per il settore agricolo, la tutela ambientale e l'efficientamento energetico dell'edilizia scolastica e universitaria, il rilancio e lo sviluppo delle imprese, il contenimento dei costi gravanti sulle tariffe elettriche, nonché per la definizione immediata di adempimenti derivanti dalla normativa europea". L'urgenza del provvedimento è collegata all'utilizzo in tempo utile dei fondi residui previsti dal Quadro Comunitario di Sostegno (QCS) 2007-2013 per l'efficientamento energetico e la messa in sicurezza degli edifici pubblici.

⁶ Approcci di riferimento per il *progressive upgrade* degli edifici sono, ad esempio, quelli promossi da Elmhurst Energy, agenzia di consulenza in materia energetica per il settore delle costruzioni britannico, oppure ENERGY STAR - Environmental Protection Agency, Agenzia Governativa che sviluppa programmi di sostegno alle pubbliche amministrazioni e alle attività imprenditoriali e individuali nel contrasto al riscaldamento globale attraverso una migliore efficienza energetica.

07 |

| SCENARI DI PROGRESSIVE UPGRADE | |  Cappotto esterno  Tetto giardino  Isolamento controterra  Sostituzione generatore termico | | | |
|---|---------|---|------------|------------|------------|
| I.C.S. 26° IMBRIANI "PLESSO BORELLI" - NAPOLI | |  Sostituzione serramenti  Sostituzione serramenti  Sostituzione serramenti  Sostituzione serramenti | | | |
| | SdF | UP_1 | UP_2 | UP_3 | UP_4 |
| EPI (kWh/m²a) | 8,80 | 43,92 | 55,52 | 60,70 | 71,20 |
| CO2 (kg/m²a) | 1,76 | 43,97 | 55,11 | 60,23 | 71,85 |
| Fabbisogno energetico (kWh/a) | 163.728 | 38.923 | 47.905 | 54.469 | 69.523 |
| Risparmio economico (€/anno) | | 5.111,00 | 6.291,00 | 7.089,00 | 9.066,00 |
| Costo intervento (€) | | 202.075,00 | 232.214,00 | 257.140,00 | 380.340,00 |

ings based on the real financial means of the Municipality and about the last EU Directive 2012/27/EU that establish that each Member Government must define a long-term strategy, also performed in phases, beyond 2020, to promote investments in energy efficiency upgrading of existing buildings of state property.

NOTES

¹ Cfr. *Eco sistema Scuola, XV Rapporto di Legambiente sulla qualità dell'edilizia scolastica, delle strutture e dei servizi*, 2014, annual survey by Legambiente on the structures and services of pre-school, primary and secondary schools in 94 towns.

² It has been assessed that for each school building in Italy there is an average of 30.000 € public funds to cover both ordinary and extraordinary maintenance cfr. *Eco sistema*

⁷ Le ricerche hanno riguardato: l'Accordo di collaborazione scientifica quadriennale tra gli Assessorati all'Urbanistica e alla Scuola e all'Istruzione del Comune di Napoli "Attività di studio, ricerca e sperimentazione per la riduzione degli impatti ambientali relativi ad un campione di edifici scolastici e agli spazi aperti" (2012), responsabile tecnico scientifico prof. V. D'Ambrosio; l'Accordo di collaborazione scientifica quadriennale con la Società Napoli Servizi che cura il global service del patrimonio pubblico del Comune di Napoli "Attività di studio, ricerca e sperimentazione, finalizzate alla caratterizzazione del livello di efficienza energetica e degli impatti ambientali degli istituti scolastici del Comune di Napoli per ridurne i consumi energetici, migliorarne il comfort e le pratiche manutentive, mitigarne l'impatto ambientale" (2012), responsabile tecnico scientifico prof. V. D'Ambrosio; Convenzione tra il Comune di Casalnuovo di Napoli e Dipartimento di Progettazione Urbana e di Urbanistica dell'Università di Napoli Federico II dal titolo "Riqualificazione degli edifici scolastici comunali in relazione alla ecosostenibilità e alla sicurezza degli interventi" (2010), responsabile tecnico scientifico prof. S. Russo Ermolli.

⁸ Dei circa 600 edifici scolastici, il 62% è stato realizzato prima della normativa tecnica sull'edilizia scolastica e ben il 96% prima della legge sul risparmio energetico del 1991. Circa il 75% degli edifici è stato edificato nel dopoguerra con una prevalenza di tipologie costruttive in calcestruzzo armato pari a circa il 70% dell'intero patrimonio scolastico pubblico.

⁹ Le esigenze e requisiti sono stati estrapolati dalle norme UNI 8290 (Parte 2a) - 1983 "Edilizia residenziale. Sistema tecnologico. Analisi dei requisiti", UNI 11277:2008 "Sostenibilità in edilizia. Esigenze e requisiti di eco-compatibilità dei progetti di edifici residenziali e assimilabili, uffici e assimilabili, di

nuova edificazione e ristrutturazione", dal protocollo Leed For School e dal protocollo Nazionale ITACA 2011 per gli edifici scolastici.

¹⁰ Le strategie d'intervento considerate sono indirizzate al miglioramento delle condizioni microclimatiche dello spazio esterno e all'incremento dell'inerzia termica dell'involucro, laddove deficitaria, in modo da controllare anche il comfort estivo. Le aule, non essendo utilizzate nei mesi in cui è prevedibile una condizione di surriscaldamento, non sono dotate di impianti di climatizzazione estiva. Per questo motivo si è prestata attenzione al miglioramento delle condizioni passive (schermature, massa, isolamento).

¹¹ BestClass TS11300 ver. 2.0

¹² Le alternative tecniche messe a confronto sono, per le chiusure verticali opache: cappotto esterno, controparete interna, isolamento in intercapedine; per le chiusure verticali trasparenti: Infissi in PVC a taglio termico con vetrocamera basso-emissivo e camera d'aria riempita con aria o argon, infissi in legno massiccio con vetrocamera basso-emissivo e camera d'aria riempita con aria o argon; per le coperture: tetto rovescio, cool roof, isolamento all'intradosso e tetto giardino.

¹³ Gli scenari di Progressive Upgrade prevedono le seguenti sequenze di integrazione delle soluzioni tecniche e di incremento dei costi con riferimento a più efficienti prestazioni energetiche: UP_1 - cappotto esterno + tetto giardino, costo totale 202.075€ - UP_2 - cappotto esterno + tetto giardino + solaio controterra, costo totale 232.140€ - UP_3 - cappotto esterno + tetto giardino + solaio controterra + sostituzione caldaia, costo totale 257.140€ - UP_4 - cappotto esterno + tetto giardino + solaio controterra + sostituzione caldaia + PVC_low-e argon, costo totale 380.340 €.

Scuola, XV Rapporto di Legambiente sulla qualità dell'edilizia scolastica, delle strutture e dei servizi, 2014.

³ National Programme "Tetti Fotovoltaici" (2001), competition announcements "Il sole a scuola" (2007 e 2012), "Il sole negli enti pubblici", "Il fotovoltaico nell'architettura" (2007).

⁴ National Operational Programme - Programma Operativo Nazionale PON-FESR 2007-2013 "Ambienti per l'Apprendimento" - Asse II obiettivo C. and Interregional Operational Programme - Programma Operativo Interregionale POIN-FESR "Energie rinnovabili e risparmio energetico", Asse II "Efficienza energetica ed ottimizzazione del sistema energetico", Linea di attività 2.2.

⁵ DL n.91 24.06.2014, "Urgent regulation on agriculture, environment protection and energy efficiency in school and in university buildings,

relaunch and development of commercial enterprises, control of costs on energy rates and immediate definition of the fulfilment of obligations deriving from European regulations". The urgency of the decree is due to the necessity of using funds in due time, as granted by Quadro Comunitario di Sostegno (QCS) 2007-2013 for the energy efficiency and safety of public buildings.

⁶ Reference approaches of *progressive upgrade* are those promoted by Elmhurst Energy, consulting agency on energy in the British construction sector or ENERGY STAR - Environmental Protection Agency, a Government Agency that develops programmes to support Public Administrations, entrepreneurs and individuals against global warming, by improving energy efficiency.

⁷ The researches deal with: the four-

year Scientific Cooperation Agreement between the Zoning Department and the Education and School Department of the City of Naples "Studies, Research and Tests for the reduction of environmental impact on a sample of school buildings and outdoor spaces" (2012), technical and scientific supervisor prof. V. D'Ambrosio; the four-year Scientific Cooperation Agreement with Società Napoli Servizi that is the company in charge of the global service of the city public heritage "Studies, Research and Tests to assess energy efficiency levels and environmental impact of school buildings in the City of Naples in order to reduce energy consumption, to improve comfort and maintenance, to diminish environmental impact" (2012), technical and scientific supervisor prof. V. D'Ambrosio; the Agreement between the town of

Casalnuovo di Napoli and the Department of Urban design and Planning, University of Naples Federico II "Requalification of town school buildings with relation to sustainability and safety of actions" (2010), technical and scientific supervisor prof. S. Russo Ermolli.

⁸ About 600 school buildings, 62 % have been completed before the technical rule on school buildings, 96% before the Energy Saving Law of 1991. About 75 % of the buildings were built after the war with a prevalence of reinforced concrete construction system approximately 70% of public school heritage.

⁹ The needs and requirements were taken from UNI 8290 (Part 2) - 1983 "Home building. Technological system. Requirements analysis", UNI 11277:2008 "Sustainable construction. Needs and requirements of

REFERENCES

- Antonini, E. and Boeri, A. (2011), *Progettare scuole sostenibili. Criteri, esempi e soluzioni per l'efficienza energetica e la qualità ambientale*, EdicomEdizioni, Monfalcone (Go).
- Antonini, E., Boscolo, M. and Romagnoni, P. (2009), "Riqualificazione degli edifici scolastici. L'esperienza della regione Veneto", in *Il progetto sostenibile*, n. 22-23, giugno-settembre.
- Baker, N.V. (2009), *The handbook of sustainable refurbishment: non-domestic building*, Earthscan, London.
- Boarin, P. (2010), *Edilizia scolastica. Riqualificazione energetica e ambientale*, EdicomEdizioni, Monfalcone (Go).
- Calone, E. (Ed.) (2014), *Edilizia scolastica. Riqualificazione e messa a norma. Procedure e normative*, Wolters Kluwer, Italia.
- CRESME (2014), *RIUSO03. Ristrutturazione edilizia, riqualificazione energetica, rigenerazione urbana*, 24 Febbraio.
- Eco sistema Scuola (2014), *XV Rapporto di Legambiente sulla qualità dell'edilizia scolastica, delle strutture e dei servizi*.
- Fusco Girard, L. and Nijkamp, P. (1997), *Le valutazioni per lo sviluppo sostenibile della città e del territorio*, Milano, FrancoAngeli.
- Iovino, R., Fascia, F. and Lignola, G.P. (2014), *Edilizia scolastica. Riqualificazione funzionale ed energetica, messa in sicurezza, adeguamento antisismico*, Flaccovio, Palermo.
- Steiger, S., Park, S., Erhorn, H. and de Boer, J. (2014), *Improved indoor environmental quality. Retrofit guideline towards zero emission schools with high performance indoor environment*, Fraunhofer Institute for Building Physics, EU project School of the Future, www.school-of-the-future.eu.
- Tedesco, S. (2010), *Riqualificazione energetico ambientale del costruito. Edifici scolastici*, Alinea, Firenze.
- United States Environmental Protection Agency (2008), *Energy Star Building Upgrade Manual*, Office of Air and Radiation.

eco-sustainability of projects of home buildings and similar, offices and similar, new construction and renovation", Leed For School and the National Protocol ITACA 2011 for school buildings.

¹⁰ The Action strategies are directed to the improvement of microclimate conditions of outside areas and to the increase of the thermal inertia of building envelope, where absent, to control also the summer comfort. The classrooms, not being used during the months when it is expected an overheating condition, are not equipped with air conditioning in summer. For this reason it was given attention to the improvement of passive conditions (shield, mass, insulation).

¹¹ BestClass TS11300 ver. 2.0

¹² The technology options compared are, for opaque vertical walls: external wall insulation, internal wall insu-

lation, insulation in cavity walls; for transparent vertical closure: Thermal PVC or wood frames with double glazing Low-E filled with air or argon gas; for covers: inverted roof, cool roof, insulation of ceiling and roof garden.

¹³ Progressive Upgrade scenarios include the following sequences of integration of technology solutions and increased costs with reference to more energy efficient performance: UP_1 external wall insulation + roof garden, total cost of € 202,075 - UP_2 - external wall insulation + roof garden + floors in the ground, cost € 232,140 - UP_3 - external wall insulation + roof garden + floors in the ground + new boiler, total cost of € 257,140 - UP_4 - external wall insulation + roof garden + floors in the ground + new boiler + PVC_low -E and argon, total cost of € 380,340.